

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ ĐỊA CHẤT
BỘ MÔN KHOÁNG THẠCH VÀ ĐỊA HOÁ

BÁO CÁO HỌC THUẬT
TAI BIẾN TRƯỢT LỞ, NHỮNG VẤN ĐỀ VÀ CÔNG
NGHỆ NGHIÊN CỨU MỚI

Người thực hiện: Tô Xuân Bản

HÀ NỘI, 12-2025

1. Mở đầu

Tai biến trượt lở – một tai biến địa chất động và phức tạp

Tai biến địa chất là khái niệm dùng để chỉ các hiện tượng tự nhiên liên quan đến hoạt động của thạch quyển, phát sinh và phát triển trong quá trình biến đổi địa hình bề mặt, đồng thời tác động trực tiếp và gián tiếp đến môi trường, kinh tế – xã hội và đời sống con người.

Xét về nguồn gốc, các tai biến địa chất được chia thành tai biến có nguồn gốc nội sinh, tai biến có nguồn gốc ngoại sinh và tai biến có nguồn gốc hỗn hợp, hình thành do sự kết hợp giữa các quá trình nội sinh và ngoại sinh. Về quy mô, tai biến địa chất rất đa dạng, từ các hiện tượng có quy mô lớn như động đất và phun trào núi lửa, đến các tai biến có quy mô nhỏ, cục bộ như trượt lở đất đá trên một đoạn tuyến giao thông. Về tác động, các tai biến địa chất đều gây ra những ảnh hưởng bất lợi đối với đời sống xã hội của nhân loại, với mức độ tác động rất khác nhau, từ hủy diệt trên diện rộng đến các ảnh hưởng mang tính cục bộ. Quá trình hoạt động của tai biến địa chất thường diễn ra theo từng giai đoạn, kéo dài trong các khoảng thời gian khác nhau, bao gồm giai đoạn chuẩn bị, giai đoạn kịch phát và giai đoạn suy giảm hoặc kết thúc.

Tai biến trượt lở đất đá là một trong những dạng tai biến địa chất phổ biến và nguy hiểm nhất tại các khu vực đồi núi trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng. Khác với các tai biến có tính tức thời như động đất hay phun trào núi lửa, trượt lở là một quá trình động, diễn ra âm thầm trong thời gian dài và chỉ bộc phát khi các điều kiện cơ – thủy – địa chất đạt đến trạng thái tới hạn.

Về bản chất, trượt lở là sự mất ổn định của khối vật liệu sườn dốc dưới tác động của trọng lực. Sự mất ổn định này không phải do một yếu tố đơn lẻ, mà là kết quả của tương tác phức tạp giữa:

- Đặc điểm địa chất – cấu trúc (thạch học, đứt gãy, phân lớp),
- Tính chất cơ học của đất đá và vỏ phong hóa,
- Điều kiện thủy văn – địa chất thủy văn (nước mưa, nước ngầm),
- Hoạt động nhân sinh (xây dựng, khai thác, phá rừng).

Trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm, quá trình phong hóa mạnh tạo nên lớp vỏ phong hóa dày, không đồng nhất, rất nhạy cảm với sự gia tăng nước mưa. Khi mưa lớn hoặc mưa kéo dài, nước thấm vào đất đá làm tăng áp lực nước lỗ rỗng, giảm lực dính kết và góc ma sát trong, dẫn đến giảm hệ số ổn định sườn dốc và kích hoạt trượt lở.

Trượt lở đất đá (landslide) là quá trình dịch chuyển khối đất, đá, vật liệu phong hóa xuống sườn dốc dưới tác động của trọng lực, thường được kích hoạt bởi:

- Mưa lớn – mưa kéo dài (gia tăng áp lực nước lỗ rỗng),
- Động đất, rung chấn,
- Cắt xẻ địa hình, xây dựng hạ tầng,
- Phá rừng, thay đổi sử dụng đất,
- Phong hóa mạnh trong điều kiện nhiệt đới ẩm.

Các dạng trượt lở phổ biến

- Trượt phẳng (planar slide)
- Trượt cung tròn (rotational slide)
- Trượt – sụp khối (slump)
- Dòng bùn đá (debris flow, mudflow)
- Sập đổ đá (rockfall)

Ở Việt Nam, trượt lở do mưa lớn trong vỏ phong hóa dày là dạng phổ biến và nguy hiểm nhất, đặc biệt tại vùng núi Trung du miền núi Phía Bắc, Bắc Trung Bộ, Tây Nguyên.

2. Đặc thù tai biến trượt lở ở Việt Nam

Ở Việt Nam, trượt lở đất đá phân bố rộng rãi tại các vùng núi và trung du, đặc biệt là tại các tỉnh Trung du miền núi phía Bắc (Lào Cai, Yên Bái, Sơn La, Lai Châu, Bắc Kạn, Cao Bằng), Bắc Trung Bộ (Thanh Hóa – Quảng Nam), và Tây Nguyên.

Đặc trưng nổi bật của trượt lở tại Việt Nam bao gồm:

- Liên quan chặt chẽ đến mưa lớn – mưa cực đoan,
- Xảy ra chủ yếu trong vỏ phong hóa dày trên nền đá gốc phân dị mạnh,
- Thường gắn với hoạt động mở đường, xây dựng khu dân cư, du lịch, thủy điện.

Nhiều vụ trượt lở xảy ra trên các sườn dốc đã từng trượt trong quá khứ, cho thấy tính kế thừa và tái hoạt động của tai biến này. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết phải nghiên cứu trượt lở không chỉ ở trạng thái hiện tại mà còn trong bối cảnh tiến hóa theo thời gian.

3. Những vấn đề đặt ra trong nghiên cứu trượt lở hiện nay

Hạn chế trong cách tiếp cận truyền thống

Phần lớn các nghiên cứu trước đây tiếp cận trượt lở theo hướng:

- Đánh giá nguy cơ tĩnh, dựa trên các yếu tố nền (địa hình, thạch học, độ dốc),
- Lập bản đồ nguy cơ ở tỷ lệ nhỏ, mang tính khái quát.

Cách tiếp cận này có giá trị ở mức độ vùng, nhưng không phản ánh được bản chất động của trượt lở, đặc biệt là vai trò của mưa thực theo thời gian – yếu tố kích hoạt chủ đạo ở Việt Nam.

Vấn đề dữ liệu và chuỗi thời gian

Một trong những điểm yếu lớn nhất hiện nay là:

- Thiếu cơ sở dữ liệu trượt lở đầy đủ, chuẩn hóa,
- Thiếu dữ liệu mưa chi tiết theo giờ/ngày,
- Ít số liệu quan trắc nước ngầm, độ ẩm đất, biến dạng sườn dốc.

Điều này khiến nhiều mô hình chỉ dừng lại ở mức xác suất xảy ra, chưa trả lời được câu hỏi quan trọng: là khi nào trượt lở sẽ xảy ra và xảy ra ở đâu trong một trận mưa cụ thể?

Khoảng cách giữa nghiên cứu và ứng dụng

Kết quả nghiên cứu trượt lở nhiều khi chưa được:

- Tích hợp vào quy hoạch sử dụng đất,
- Sử dụng hiệu quả trong cảnh báo sớm và phòng tránh,
- Chuyển hóa thành các tiêu chí kỹ thuật cho thiết kế hạ tầng.

Đây là khoảng trống lớn giữa khoa học – quản lý – cộng đồng.

4. Các công nghệ nghiên cứu trượt lở mới và hiện đại

Viễn thám và theo dõi biến dạng sườn dốc

Công nghệ InSAR cho phép phát hiện dịch chuyển sườn dốc với độ chính xác mm–cm, ngay cả khi trượt lở chưa xảy ra. Đây là công cụ đặc biệt hữu hiệu trong việc nhận diện khu vực trượt tiềm ẩn và theo dõi tốc độ biến dạng theo thời gian.

Bên cạnh đó, UAV và LiDAR cung cấp mô hình địa hình độ phân giải rất cao, giúp nhận diện các dấu hiệu tiền trượt như nứt kéo, bậc trượt, gãy địa hình nhỏ.

GIS và trí tuệ nhân tạo trong đánh giá nguy cơ

Các mô hình học máy cho phép xử lý lượng lớn dữ liệu không gian và thời gian, vượt xa khả năng của các phương pháp trọng số truyền thống. Đặc biệt, các mô hình như Random Forest, XGBoost, và Deep Learning có khả năng tự học mối quan hệ phi tuyến giữa mưa, địa hình, địa chất và trượt lở.

Xu hướng mới là xây dựng bản đồ nguy cơ trượt lở động, cập nhật theo từng kịch bản mưa.

Mô hình vật lý – cơ học theo thời gian

Các mô hình như TRIGRS cho phép mô phỏng quá trình: Mưa → thấm → tăng áp lực nước lỗ rỗng → giảm ổn định mái dốc.

Đây là bước tiến quan trọng, giúp liên kết trực tiếp giữa mưa thực đo và cơ chế trượt, phù hợp với nghiên cứu ở tỷ lệ lớn (1:2.000 – 1:5.000).

Công nghệ cảm biến, IoT và cảnh báo sớm

Việc triển khai các trạm quan trắc mưa, độ ẩm đất, dịch chuyển sườn dốc theo thời gian thực là nền tảng cho hệ thống cảnh báo sớm trượt lở. Khi kết hợp với mô hình dự báo, hệ thống này có thể:

- Cảnh báo trước khi trượt lở xảy ra,
- Hỗ trợ ra quyết định sơ tán, đóng đường, đảm bảo an toàn.

5. Xu hướng nghiên cứu trượt lở trong bối cảnh biến đổi khí hậu

Biến đổi khí hậu làm gia tăng:

- Mưa cực đoan,
- Mưa tập trung trong thời gian ngắn,
- Chuỗi mưa bất thường.

Điều này khiến trượt lở không còn là tai biến “hiếm gặp” mà trở thành rủi ro thường trực, đòi hỏi cách tiếp cận:

Từ đánh giá nguy cơ → quản lý rủi ro → thích ứng chủ động

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Nghiên cứu trượt lở theo hướng hiện đại không chỉ giúp: Hiểu rõ cơ chế phát sinh tai biến và nâng cao độ tin cậy của dự báo, mà còn góp phần bảo vệ tính mạng con người, hỗ trợ quy hoạch bền vững, và thích ứng với biến đổi khí hậu ở vùng núi.

7. Kết luận

Tai biến trượt lở đất đá là một tai biến địa chất phức tạp, mang tính động cao, chịu sự chi phối đồng thời của điều kiện địa chất – địa mạo, tính chất cơ học của đất đá, quá trình thấm nước và đặc biệt là mưa lớn, mưa kéo dài. Trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm như ở Việt Nam, với vỏ phong hóa dày, không đồng nhất và tác động ngày càng mạnh của con người, trượt lở không còn là hiện tượng đơn lẻ mà đã trở thành rủi ro thường xuyên, gây thiệt hại nghiêm trọng về người, tài sản và hạ tầng.

Thực tiễn nghiên cứu cho thấy, các cách tiếp cận truyền thống mang tính tĩnh, định tính và tỷ lệ nhỏ không còn đáp ứng được yêu cầu dự báo và phòng tránh trượt lở trong bối cảnh mưa cực đoan gia tăng do biến đổi khí hậu. Những hạn chế về dữ liệu, chuỗi thời gian quan trắc và sự thiếu gắn kết giữa nghiên cứu khoa học với công tác quản lý, quy hoạch và cảnh báo sớm vẫn là những thách thức lớn hiện nay.

Sự phát triển của viễn thám, GIS, mô hình vật lý – cơ học, trí tuệ nhân tạo, cảm biến và IoT đã mở ra hướng tiếp cận mới trong nghiên cứu trượt lở, cho phép chuyển từ đánh giá nguy cơ tĩnh sang nguy cơ động theo mưa thực, từ lập bản đồ nguy cơ sang dự báo và cảnh báo sớm. Các công nghệ này không chỉ giúp làm sáng tỏ cơ chế phát sinh trượt lở mà còn nâng cao độ tin cậy của các sản phẩm ứng dụng ở tỷ lệ lớn, phục vụ trực tiếp cho quy hoạch, thiết kế công trình và bảo đảm an toàn cộng đồng.

Trong thời gian tới, nghiên cứu trượt lở cần được tiếp cận theo hướng liên ngành, đa nguồn dữ liệu và định hướng ứng dụng, gắn chặt với đặc thù điều kiện tự nhiên – xã hội của từng khu vực cụ thể. Việc xây dựng cơ sở dữ liệu trượt lở chuẩn hóa, tích hợp chuỗi mưa thực, mô hình hóa theo thời gian và triển khai hệ thống cảnh báo sớm là những nhiệm vụ then chốt, góp phần giảm thiểu rủi ro tai biến trượt lở, hướng tới phát triển bền vững và thích ứng hiệu quả với biến đổi khí hậu ở các vùng núi Việt Nam.

8. Tài liệu tham khảo

- Nguyễn Trọng Yên và nnk. (2013). *Nghiên cứu tai biến trượt lở đất đá ở vùng núi Việt Nam*. Viện Địa chất – Viện Hàn lâm KH&CN Việt Na
- Pham, V.H., Nguyen, Q.H., et al. (2020). *Rainfall-induced landslides in northern Vietnam*. *Natural Hazards*, 103, 1887–1910.
- Tô Xuân Bản và nnk, 2022. Báo cáo đề tài cấp Bộ "Nghiên cứu đánh giá tình hình khai thác sử dụng đất nông nghiệp và các tai biến thiên nhiên ảnh hưởng tới sự phát triển nông nghiệp bền vững tại khu vực trung du và miền núi phía Bắc" mã số CT.2019.01.01. Bộ GD&ĐT.
- Pham, B.T. et al. (2018). *Landslide susceptibility assessment using machine learning models*. *Geomorphology*, 299, 45–60
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996). *Landslide types and processes*. In: Turner, A.K. & Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation*, Transportation Research Board, Special Report 247, pp. 36–75
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C.P. (2007). *Rainfall thresholds for the initiation of landslides*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 141–155
- Iverson, R.M. (2000). *Landslide triggering by rain infiltration*. *Water Resources Research*, 36(7), 1897–1910
- Fredlund, D.G. & Rahardjo, H. (1993). *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. Wiley.
- Chen, W., Pourghasemi, H.R., & Naghibi, S.A. (2018). *A comparative study of landslide susceptibility maps produced using statistical and machine learning models*. *Engineering Geology*, 244, 168–188.
- UNDRR (2017). *Terminology on Disaster Risk Reduction*. United Nations.
- Gariano, S.L. & Guzzetti, F. (2016). *Landslides in a changing climate*. *Earth-Science Reviews*, 162, 227–252